

Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado

Population exposure to mercury in the municipality of San Marcos (Sucre department) due to eating contaminated rice (*Oryza sativa*)

Marcela P. Argumedo-García¹, Adolfo Consuegra-Solórzano¹,
John V. Vidal-Durango² y José L. Marrugo-Negrete³

1 Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia. marce404@hotmail.com; adolfoconsuegra@yahoo.es

2 Corporación Universitaria del Caribe (CECAR). Sincelejo, Colombia. johnvidavi@yahoo.com

3 Universidad de Córdoba. Montería, Colombia. E-mail: jlmarrugon@yahoo.com

Recibido 11 Junio de 2013/Enviado para Modificación 10 Julio 2013/Aceptado 16 Agosto 2013

RESUMEN

Objetivo Determinar la magnitud de la exposición a mercurio en los habitantes del municipio de San Marcos debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado.

Métodos Se seleccionaron 20 personas representativas de la población y se tomaron muestras del alimento (arroz crudo) y muestras de cabello para determinar mercurio total y metilmercurio mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío. Para realizar comparaciones entre las distintas muestras se realizaron t-test, tomando un grado de significancia $P < 0.05$ y para determinar la relación entre los hábitos de consumo y la concentración de mercurio en humanos se realizó un análisis de correlación.

Resultados El arroz comercializado de forma suelta (arroz blanco de San Marcos) fue el único que mostró una mínima concentración de mercurio total de $0,021 \mu\text{g/g}$, mientras que los que se comercializan de forma empacada no arrojaron un valor cuantificable. Solo el 5 % de la muestra poblacional excedió la dosis de referencia de Ingestión de MeHg (RfD) establecida por la EPA, de $0,1 \mu\text{g/Kg}$ de peso corporal/día.

Conclusiones La exposición a HgT de los habitantes del municipio de San Marcos por consumo de arroz es baja y no implica grandes riesgos para su salud. No obstante, el consumo frecuente de otros alimentos contaminados podría representar una amenaza potencial para la salud de los consumidores, lo cual hace necesario su permanente monitoreo ambiental.

Palabras Clave: Contaminación, mercurio, minería, *Oryza sativa*, salud pública, espectrofotometría por absorción atómica (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

Objective Determining the magnitude of mercury exposure in the population living in the municipality of San Marcos due to eating contaminate drice (*Oryza sativa*).

Methods Twenty people (representative of the population) were selected, as were food (raw rice) and hair samples for determining total mercury and methyl mercury by cold vapour atomic absorption spectrophotometry. Student's t-test was used for comparing different samples ($p < 0.05$ significance level) and correlation was analysed for determining the relationship between consumption habits and mercury concentration in humans.

Results Rice sold loose (i.e. unpackaged San Marcos white rice) was the only sample having 0.021 mg/g minimum total mercury concentration, whilst rice sold in packaged form yielded no measurable value. Only 5% of the population sample exceeded the US Environmental Protection Agency's (EPA) 0.1 mg/kg bw/day reference dose (RfD) for Me Hg ingestion (RfD).

Conclusions The HgT exposure of people living in and around San Marcos concerning rice consumption was low and did not involve great risks to their health. However, frequent consumption of other types of contaminated food could pose a potential threat to the consumers' health, meaning that ongoing environmental monitoring is necessary.

KeyWords: Pollution, mercury, mining, *Oryza sativa*, publichealth, spectrophotometry, atomic (source: MeSH, NLM).

Los metales pesados han sido siempre un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial, pues a diferencia de los compuestos orgánicos, estos no pueden ser biodegradados, razón por lo cual las concentraciones en los compartimientos ambientales aumentan continuamente(1). Uno de los contaminantes más estudiados por su alta toxicidad y su gran impacto sobre el ambiente y la humanidad es el mercurio, especie química que puede convertirse en metil mercurio (Me-Hg) y ser acumulado en la cadena alimentaria, lo que supone una amenaza potencial para la salud de los seres humanos (2).

El mercurio puede aparecer en el ambiente a través de fuentes naturales o antropogénicas, siendo la actividad minera la fuente principal de emisión en países en vía de desarrollo (3,4). En Colombia la mayor zona de explotación minera de oro, se encuentra ubicada entre el norte de Antioquia y sur de Bolívar donde se ubican más de 12 400 minas en explotación para el año 2002 y ya en ese entonces se emitían al ambiente entre 80 y 100 ton/año (5).

La exposición de mercurio en el hombre puede generar graves efectos toxicológicos como: déficit en el desarrollo neurológico y de

comportamiento (6,7), lo cual puede incluir daños sutiles en la memoria visual, atención y velocidad en las respuestas visuales, auditivas y psicomotoras (8,9), además de inflamaciones severas de la piel (10,11), irritación del tracto gastrointestinal y daño hepático severo (12). Los compuestos órgano mercúricos, especialmente el metil mercurio, son considerados sustancias mucho más tóxicos que el mercurio elemental (Hg^0) y sus sales inorgánicas (Hg^{2+} , Hg^{2+}), por lo que tiene una mayor solubilidad lipídica que le permite la fácil penetración por las membranas celulares. Alrededor del 90 % de todo el metil mercurio presente en los alimentos es absorbido a través del tracto gastrointestinal tanto en el hombre como en los animales.

El metil mercurio es acumulado tanto en el cerebelo como en la corteza cerebral donde es fuertemente enlazado a las proteínas a través de los grupos sulfidrilos. Uno de los grandes problemas de este agente tóxico es su alta capacidad para atravesar la barrera placentaria (13,14) donde su velocidad de transporte es 10 veces mayor respecto al mercurio inorgánico. En virtud de que los tejidos fetales tienen mayor afinidad para unirse al metil mercurio que los de la madre, los niveles comienzan a ser más altos en el nuevo ser que en la madre expuesta (15). Una vez en el feto, el metil mercurio puede penetrar la barrera hemato-encefálica para llegar al sistema nervioso central, en donde ejerce gran parte de su toxicidad (5).

Estudios previos han mostrado que el pescado es la principal fuente de exposición al metil mercurio (Me-Hg) en humanos. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el arroz (*Oryza sativa*), el alimento básico para billones de personas, también puede ser una vía importante de exposición a esta forma orgánica (16). Por ejemplo, se ha demostrado que el suelo de las plantas de arroz es un medio adecuado para las bacterias reductoras de azufre (17) y favorable para los procesos de metilación de mercurio. En comparación con otros cultivos contiene relativamente los niveles más altos de Me-Hg debido a sus condiciones de crecimiento en suelos saturados de agua (18), lo que lleva a aumento de la bio disponibilidad de Hg, seguida de la bio acumulación y bio magnificación en la cadena alimentaria (19), siendo al final la población expuesta a alimentos contaminados con mercurio los más afectados.

A pesar de que en la región de la Mojana no hay una explotación masiva de oro, es una zona receptora de mercurio debido a las interconexiones que hay entre las corrientes de agua provenientes de estas zonas altamente

contaminadas. Su principal municipio, San Marcos, está interconectado hídricamente a través del río San Jorge y recepciona arroz para el consumo de sus habitantes de zonas aledañas a sitios de explotación aurífera (5), lo que pone en riesgo a los consumidores si se encontraran concentraciones de Hg perjudiciales para la salud humana y más aún si superan los valores límites de ingesta diaria establecidas por la EPA y el *Codex Alimentarius*. Por consiguiente, esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la magnitud de la exposición a mercurio en los habitantes del municipio de San Marcos debida a la ingesta de arroz contaminado, para evaluar los niveles de exposición en los habitantes y los riesgos que pueden traer para su salud.

MÉTODOS

Tipo y sitio de estudio

El presente estudio es de tipo exploratorio-descriptivo y se realizó en el municipio de San Marcos en el sur del Departamento de Sucre.

Población y muestra

La población está conformada por el total de habitantes del municipio de San Marcos. La muestra se tomó de manera aleatoria con un nivel de confianza de 95 %.

Fase 1. Identificación y determinación de la procedencia del arroz (*Oryza sativa*)

Inicialmente se aplicó una encuesta para obtener la información de los lugares de compra del arroz (tiendas, mercados locales, etc.), así como frecuencia y cantidad de consumo por género y edades. Para ello se diseñó un formato especial donde se registraron todos los datos. Posteriormente se caracterizaron los sitios de compra y a partir de allí se estableció que proveedores son productores directos, proveedores que son intermediarios y productores primarios que les venden a los intermediarios. Después de una entrevista con proveedores y productores se identificaron los sitios de procedencia del arroz.

Fase 2. Determinación de la concentración de Hg en arroz (*Oryza sativa*)

Para el análisis de HgT y MeHg se tomaron muestras del alimento (arroz crudo) y muestras de cabello de 20 personas representativas de la población, las cuales fueron empacadas en bolsas de polietileno de cierre hermético, almacenadas a 4°C en recipientes de poliestireno expandido y llevadas al

laboratorio de Aguas y Química Ambiental de la Universidad de Córdoba para su posterior análisis.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron digeridas con soda caustica para la determinación de Hg inorgánico y con soda caustica con cloruro de cadmio para la determinación de HgT. Posteriormente, las muestras fueron analizadas por espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío adaptado de Sadiq *et al.*, (20) y US-EPA (21), previamente validado en el laboratorio de Aguas y Química Ambiental de la Universidad de Córdoba. A través de la diferencia de HgT y Hg inorgánico se estableció el Hg orgánico. Varias muestras fueron analizadas por cromatografía gaseosa acoplada a MS, para la corroboración de los resultados de mercurio orgánico y en especial Me-Hg.

Fase 3. Análisis de datos

Las concentraciones halladas de MeHg en los diferentes compartimientos ambientales y en los respectivos alimentos se presentaron como media +/- error estándar. Con los datos de concentración de HgT y Me-Hg en arroz y teniendo en cuenta las cantidades y frecuencias de consumo en la temporada evaluada, se determinó la ingesta diaria (PDI) de cada uno de los habitantes estudiados, donde PDI es igual al promedio diario de consumo de un alimento específico en gramos/promedio de mg de Hg y Me-Hg por gramo de alimento consumido. Los datos de ingesta fueron comparados con los valores establecidos por la EPA y el *Codex Alimentarius* para Me-Hg y HgT, respectivamente. Se tomaron como base los parámetros establecidos por la OMS.

Para determinar relaciones estadísticas entre los hábitos de consumo del arroz y la concentración de HgT y Me-Hg en humanos se realizó un análisis de correlación. Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los datos de ingesta diaria de HgT y Me-Hg en la zona de estudio, se realizó un t-test no pareado, previa verificación y corrección de la normalidad si fuese necesario utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.

RESULTADOS

Concentración de HgT y MeHg en Arroz (*Oryza sativa*)

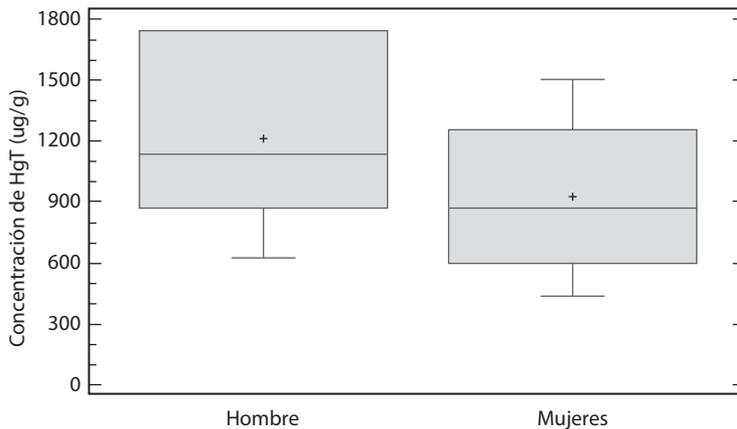
Los resultados mostraron que solo el arroz que se comercializa de forma suelta (arroz blanco de San Marcos) tuvo una concentración mínima de

HgT y MeHg, ($0,021\mu\text{gHgT/g}$ - $0,012\mu\text{gMeHg/g}$), valor que se encuentra en el límite recomendado por el estándar nacional para arroz molido en China igual a $0,02\mu\text{g/g}$; mientras que las demás muestras que son comercializadas de forma empacada no superaron el límite de detección del espectrofotómetro (ND), arrojando un valor no cuantificable de MeHg.

Determinación del consumo promedio de arroz en hombres y mujeres

Para comparar las medias del consumo de arroz en hombres y mujeres se realizó un t-test que no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,129907$) (Figura 1). En cuanto al consumo de este alimento teniendo en cuenta los rangos de edad se observaron consumos similares entre las diferentes edades.

Figura 1. Consumo promedio de arroz (*Oryza sativa*) en hombres y mujeres



Determinación de la ingesta diaria (PDI) de HgT y MeHg en hombres y mujeres

El valor de PDI de HgT en hombres fue de $0,08\pm 0,02906\mu\text{g/kgpc/día}$; mientras que para mujeres correspondió a $0,06\pm 0,01663\mu\text{g/kgpc/día}$; observándose que en ambos casos estos resultados fueron inferiores al PDI establecido por la FAO/OMS y el Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios JECFA (22), que corresponde a $0,57\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/día (equivalente a la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de $4\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/semana), como se indica en la Tabla 1. Asimismo, en la Tabla 2 se observa que el PDI de MeHg no superó el PDI establecido por el JECFA (23), el cual corresponde a $0,23\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/día (equivalente al ISTP para MeHg de $1,6\mu\text{g/kg}$ de peso corporal/semana).

En cuanto a la ingesta semanal de HgT y MeHg, luego de realizar el t-test no se encontraron diferencias significativas entre las cantidades ingeridas de ambas especies químicas debido al consumo de arroz entre hombres y mujeres, con un valor $p=0,70776$ y de $p = 0,707093$ para HgT y MeHg respectivamente.

Tabla 1. Ingesta diaria (PDI) de HgT en hombres y mujeres

	Consumo (g)	Ingesta Semanal HgT (μg)	Ingesta Diaria HgT (μg)	Ingesta por peso corporal ($\mu\text{g}/\text{kgpc}/\text{día}$)
Hombres	1 218 \pm 38,7	20,08 \pm 4,2	2,8 \pm 0,6	0,08 \pm 0,02
Mujeres	925,535 \pm 121,3	18,067 \pm 3,1	2,5 \pm 0,4	0,06 \pm 01

Concentración de HgT y MeHg en muestras de cabello

En la Tabla 3 y en la Figura 2 se observan los valores promedio de HgT y MeHg en cabello de hombres y mujeres muestreados. Estos resultados aunque son mayores para hombres (649,36 \pm 320,98 ng/g HgT y 520,09 \pm 247,53 ng/g MeHg) en comparación con las mujeres (311,68 \pm 69,640 ng/g HgT y 273,83 \pm 61,167 ng/g MeHg), en ninguno de los casos se presentaron diferencias estadísticamente significativas; los valores p fueron mayores a 0,05 (para HgTp = 0,317521 y para MeHg p = 0,34694).

Tabla 2. Ingesta diaria (PDI) de MeHg en hombres y mujeres

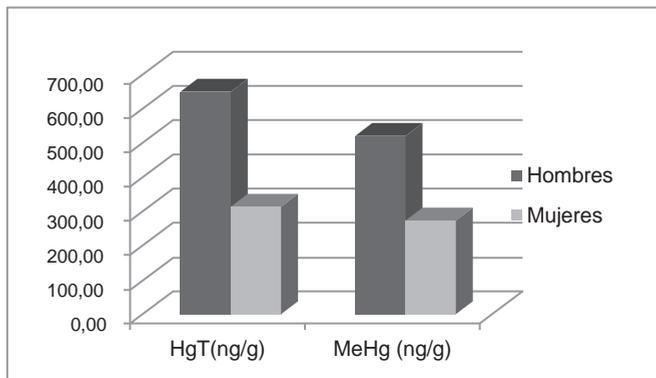
	Consumo (g)	Ingesta Semanal MeHg (μg)	Ingesta Diaria MeHg (μg)	Ingesta por peso corporal ($\mu\text{g}/\text{kgpc}/\text{día}$)
Hombres	1218 \pm 38,7	11,4 \pm 2,4	1,64 \pm 0,3	0,04 \pm 0,02
Mujeres	925,5 \pm 121,3	10,3 \pm 1,8	1,4 \pm 0,2	0,02 \pm 0,01

Tabla 3. Concentración media de HgT y MeHg en muestras de cabello en hombres y mujeres

	Consumo (g)	[HgT] Cabello (ng/g)	[MeHg] Cabello (ng/g)
Hombres	1 218 \pm 138,7	649,36 \pm 320,9	520,09 \pm 247,5
Mujeres	925,5 \pm 121,3	311,6 \pm 69,6	273,8 \pm 61,1

Relación de la concentración de HgT y MeHg en cabello con el consumo de arroz
Al correlacionar la concentración de HgT y MeHg en cabello con el consumo de *Oryza sativa*, esta presentó bajos valores de R^2 , indicando que no hubo relación entre la concentración del metal y la variable respuesta. Asimismo, la edad y el peso, no tuvieron ningún efecto significativo sobre los niveles de mercurio en el cabello.

Figura 2. Concentración de HgT y MeHg en cabello en hombres y mujeres muestreados en el municipio de San Marcos



DISCUSIÓN

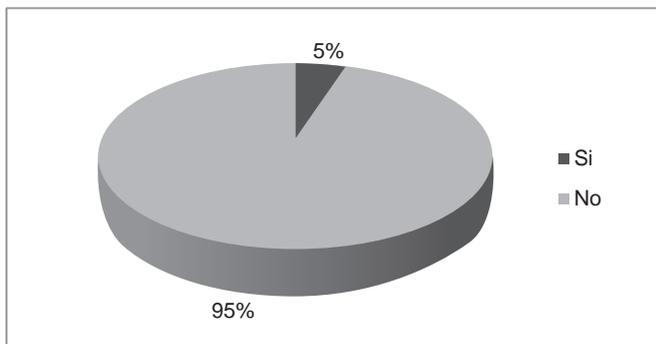
Determinación del consumo promedio de arroz en hombres y mujeres

El t-test no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p=0,129907$), lo que indica que en el grupo de habitantes muestreado, tanto hombres como mujeres consumen cantidades similares de arroz. Los hombres consumen cantidades promedio de 1218,0 gramos de arroz semanalmente frente a las mujeres que ingieren cantidades promedio de 925,24 gramos de arroz cada semana. Aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas el mayor consumo del alimento por el hombre se podría explicar por su mayor gasto energético en faenas de trabajo o por circunstancias culturales. De acuerdo a los rangos de edad el consumo de arroz fue similar entre las diferentes edades lo que obedece principalmente al estrato socioeconómico (bajo o medio) y a circunstancias culturales.

Determinación de la ingesta diaria (PDI) de HgT y MeHg en hombres y mujeres

Los resultados mostraron que la ingesta diaria (PDI) de HgT y MeHg por el consumo de arroz estuvieron por debajo de los límites establecidos por la FAO y OMS de $0,57 \mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día (HgT) y $0,23 \mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día (MeHg). Solo el 5 % de la muestra poblacional superó la dosis de referencia (RfD) de $0,1 \mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal/día (Figura 3), la cual corresponde a la concentración de mercurio que puede ser consumida diariamente a lo largo de la vida sin que se presente ningún efecto adverso (24).

Figura 3. Porcentaje de la muestra poblacional que supera la dosis de referencia (RfD) por consumo de arroz



Numerosos estudios han reportado contaminación por mercurio y metil mercurio en arroz; un ejemplo es el estudio realizado por Zhang (25) en el cual se evaluaron las concentraciones de Hg total y MeHg en cuatro sitios de la provincia de Guizhou (China), una zona altamente contaminada debido a la minería aurífera, fundición tradicional de zinc y la industria pesada a partir del carbón, encontrándose que la ingesta diaria probable (PDI) de MeHg para una población adulta sobre la base de 60 kg de peso corporal (pc) fue considerablemente mayor en Wanshan que en los otros tres lugares. Con un promedio PDI de $0.096\mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal/día (rango, $0.015\text{-}0.45\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día), aproximadamente el 34 % de los habitantes de Wanshan (zona minera de Hg) excedieron la dosis de referencia de $0,1\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día establecido por la USEPA. El PDI de MeHg para los residentes en los otros tres lugares estaban por debajo de $0,1\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día (promedio $0,017$ a $0,023\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal/día, con un máximo de $0,095\mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal/día). En las cuatro áreas, el consumo de arroz representó el 94-96 % de la PDI de MeHg. Asimismo, Rice (26) encontró que los niveles de mercurio en la sangre estaban por encima del nivel de exposición recomendado (20 ppb) en 12 de los 43 residentes examinados (27,9 %). La mayoría de los voluntarios eran ex trabajadores de minas, quienes presentaban efectos toxicológicos como: gingivitis, sangrado de las encías, anemia, entumecimiento, debilidad, temblores y falta de coordinación, lo que demuestra que verdaderamente el mercurio es un metal altamente tóxico y que se ha convertido en un problema de salud pública desde hace muchas décadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se podría pensar que el riesgo en la salud debida al consumo de arroz para la población

muestreada es bajo. Sin embargo, se recomienda seguir las investigaciones en la zona sobre este alimento, puesto que la ubicación geográfica de este municipio hace de éste una zona receptora de contaminación por metales pesados, gracias a las corrientes de agua procedentes de zonas altamente contaminadas por la actividad minera.

Concentración de HGT y MEHG en muestras de cabello

A pesar de que no hubo diferencias significativas en las muestras de cabello los hombres tuvieron mayor concentración de HgT posiblemente se explique por la exposición ocupacional, así como por la mayor cantidad de consumo de arroz.

Por otra parte, varios estudios han demostrado la relación entre el nivel total del metal en el cabello y sus preferencias alimentarias, encontrando que la concentración de mercurio es más alta entre las personas que prefieren los peces (3,305 ng/g), seguido por las que prefieren la carne (2,150 ng/g) y la menor entre aquellas que prefieren las verduras y cereales (1,790 ng/g) (27).

Estudios recientes han reportado que existe una relación directa entre la edad y la concentración de mercurio en cabello (28). Sin embargo, los resultados mostraron que no hay una relación entre las dos variables, lo que indica que posiblemente una cantidad considerable de mercurio en los alimentos consumidos por los habitantes del municipio ha podido ser de Hg inorgánico, que es mucho menos tóxico que el MeHg, cuya tasa de absorción por el cuerpo humano ha sido estimada en sólo el 7 % (29), mientras que el 95 % de MeHg es asimilado (30). Por otra parte se debe mencionar que las concentraciones de HgT y MeHg en cabello dependen de todas las fuentes de exposición en la persona, lo cual incluye todo tipo de alimentos, entre ellos el más importante es el consumo de pescado, agua potable, frutas y verduras etc., por lo cual no se puede atribuir estos resultados al simple consumo de arroz.

La USEPA (Agencia de protección del medio ambiente USA) recomienda unos niveles de MeHg en cabello de 1000 ng/g, mientras que la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) y la OMS (Organización Mundial de la Salud) conjuntamente en el Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) establecen unos niveles de seguridad de MeHg en cabello de 22 000 ng/g (13,31); según los resultados del presente estudio, se logra evidenciar que ninguna de las medias de

concentración de MeHg en cabello supera los valores establecidos por los dos comités internacionales, a diferencia de los reportados por (32) en habitantes de Caimito (Sucre), donde la mayoría de los datos para el total de personas monitoreadas osciló entre 500 y 10 000 ng Hg/g, la concentración del contaminante en cabello del sexo masculino presentó una media de $4\ 310 \pm 420$ ng Hg/g y en el sexo femenino se obtuvo una media de $5\ 780 \pm 1\ 210$ ng Hg/g, ambos valores se encuentran por encima de los datos reportados en el presente estudio y también exceden los límites permisibles ya establecidos de mercurio en cabello mencionados anteriormente.

Relación de la concentración de HgT y MeHg en cabello con el consumo de arroz

Los resultados muestran que no hubo relación directa entre la concentración del metal y la variable respectivamente. Este comportamiento indica que la cantidad de consumo de arroz por la población no tuvo ningún efecto en la concentración de HgT en las muestras de cabello. Según (33), los mayores niveles de Hg dependen de las concentraciones de los alimentos y no de la cantidad o tamaño. Así la elevada concentración de mercurio en los alimentos están influenciados también por la procedencia de los mismos, lo que indica que entre más contaminación haya en el lugar mayores serán los niveles del metal en los alimentos que hacen parte de la dieta alimenticia de la población. En el caso de las personas muestreadas en este estudio se podría decir que el riesgo en la salud debido a la contaminación por mercurio en el arroz es relativamente bajo; no obstante, se debe recordar que el mercurio es un elemento altamente tóxico y lo ideal es consumir alimentos totalmente libres o con los menores niveles posibles de este contaminante (34).

Para posteriores investigaciones se sugiere continuar con los estudios en la zona sobre este y otros alimentos, debido a que el consumo frecuente de alimentos contaminados por mercurio podría representar una amenaza potencial para la salud de los consumidores, lo cual hace necesario su permanente monitoreo ambiental ♠

Agradecimientos: Los autores expresan sus agradecimientos a la comunidad del municipio de San Marcos por su colaboración en el momento de llevar a cabo este estudio en la localidad, así como a la Universidad de Córdoba y Universidad de Sucre, por su respaldo en el desarrollo de esta investigación y al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), por el apoyo económico que aportó mediante el proyecto “Efectos genotóxicos y citotóxicos

en personas expuestas a metales presentes en el agua de bebida en la región de la Mojana y la cuenca del río San Jorge en los departamentos de Córdoba y Sucre” financiada por Colciencias mediante el contrato 223-2010.

REFERENCIAS

1. Islam E, Yang X, He Z, Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal of Zhejiang University*. 2007; 8: 1-13.
2. Moreno FN, Anderson CW, Stewart RB, Robinson BH. Mercury volatilisation and phytoextraction from base-metal mine tailings. *Environ. Pollut.* 2005; 136: 341-352.
3. Aranda, PR, Gil RA, Moyano SIE, De Vito, Martínez LD Cloud point extraction of mercury with PONPE 7.5 prior to its determination in biological samples by ETAAS. *Talanta*. 2008; 75, 307–311.
4. Tuzen M, Soylak M. Mercury contamination in mushroom samples from Tokat-Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2005; 74, 968–972.
5. Olivero J y Johnson B. El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Editorial Universitaria. Colombia. 2002.
6. Ozuah PO. Folk use of elemental mercury: a potential hazard for children. *J. Natl. Med. Assoc.* 2001; 93(9):320-322.
7. Tirado V, García MA, Moreno J, Galeano LM, Lopera F, Franco A. Neuropsychological disorders after occupational exposure to mercury vapors in El Bagre (Antioquia, Colombia). *Rev. Neurol.* 2000; 31(8):712-716.
8. Counter SA, Buchanan LH, Ortega F, Laurell G. Elevated blood mercury and neuro-otological observations in children of the Ecuadorian gold mines. *J. Toxicol. Environ. Health A*. 2002; 65(2):149-163.
9. Ellingsen DG, Bast-Pettersen R, Efskind J, Thomassen Y. Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers. *Neurotoxicol.* 2001; 22(2):249-258.
10. Zimmer J, Grange F, Straub P, Haegy JM, Guillaume JC. Mercury erythema after accidental exposure to mercury vapor. *Ann. Med. Interne (Paris)*. 1997; 148(4):317-320.
11. Boyd AS, Seger D, Vannucci S, Langley M, Abraham JL, King LE. Mercury exposure and cutaneous disease. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2000, 43(1 Pt 1):81-90.
12. Langford N y Ferner R. Toxicity of mercury. *J. Hum. Hypertens.* 1999; 13(10):651-656.
13. United States Environmental Protection Agency. Mercury study report to congress: health effects of mercury and mercury compounds. EPA- 4562/R-97- 007. Washington, DC, USA: U.S. EPA. 1997.
14. Tsuchiya H, Mitani K, Kodama K, Nakata T. Placental transfer of heavy metals in normal pregnant Japanese women. *Arch. Environ. Health*. 1984; 39(1):11-17.
15. Mottet NK, Shaw CM, Burbacher TM. Health risks from increases in methylmercury exposure. *Environ. Health Perspect.* 1985; 63:133-140.
16. Myers GJ y Davidson PW. Prenatal methylmercury exposure and children: neurologic, developmental, and behavioral research. *Environ. Health Perspect.* 1998; 106 (Suppl 3):841-847.
17. Guangle Q, Xinbin F, Ping Li, Shaofeng W, Guanghui Li, Lihai S, et al. Methylmercury Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) Grown at Abandoned Mercury Mines in Guizhou, China. *J. Agric. Food Chem.* 2008; 56 (7), pp 2465–2468.
18. Stubner S, Wind T, Conrad R. Sulfur oxidation in rice field soil: activity, enumeration, isolation and characterization of thiosulfate-oxidizing bacteria. *Syst Appl Microbiol.* 1998; 21:569–578.
19. Qiu GL, Feng XB, Wang SF, Shang LH. Mercury and methylmercury in riparian soil, sediments, mine-waste calcines, and moss from abandoned Hg mines in east Guizhou Province, southwestern China. *Appl. Geochem.* 2005; 20:627–638.

20. Ullrich SM, Tanton TW, Abdrashitova SA. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. *Crit Rev Environ Sci Technol.* 2001; 31:241–293.
21. Sadiq M, Zaidi T, Al-Mohana M. Sample Weight and Digestion Temperature as Critical Factors in Mercury Determination in Fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 1991; 47: 335-341.
22. USEPA. Method 7471B for determination of mercury in solid or semisolid waste. U.S. Environmental protection Agency. Cincinnati. Ohio; 1998.
23. JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Sixty-first Meeting, Rome, 10–19 June 2003, Summary and Conclusions; 2003.
24. JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Committee of the Codex Alimentarius Commission, Thirty-third Session; 2010.
25. Hua Z, Xinbin F, Thorjorn L, Guangle Q, Rolf V. In Inland China, Rice, Rather than Fish, Is the Major Pathway for Methylmercury Exposure. *Environ Health Perspect.* 2010; 118(9): 1183–1188.
26. Rice G, Swartout J, Mahaffey K, Schoeny R. Derivation of U.S. EPA's oral Reference Dose (RfD) for methylmercury. *Drug Chem. Toxicol.* 2000; 23(1):41-54.
27. Nelia PC, Paciano J, Trinidad A, Rivera F, Crisanta R, Panganiban C, Dioquino N, Dando R, Timbang H, Akagi M, Castillo T, Quitariano C, Afuang M, Matsuyama A, Eguchi T, Fuchigami Y. Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: A toxic legacy *Journal of Environmental Management.* 2006; 81: 135-145.
28. Eisler R. Mercury hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. US Fisheries and Wild Life Service, Biological Report. 1987;1(1): 85.
29. Ping L, Xinbin F, Lihai S, Guangle Q, Bo M, Hua Z, Yanna G, Peng L. Human co-exposure to mercury vapor and methylmercury in artisanal mercury mining areas, Guizhou, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2011; 74: 473-479.
30. Clarkson TW. Mercury: major issues in environmental health, *Environ. Health Perspect.* 1993; 100: 31–38.
31. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Rice Is Life: International Rice Commission Meets in Peru*; 2006.
32. National Research Council (NRC). *Toxicological effects of methylmercury. A report of the Committee on the toxicological Effects of Methylmercury, Board on Environmental studies and Toxicology.* Washington, DC: National Academy Press; 2000.
33. Olivero J, y Solano B. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by goldmining in Colombia, South America. *Sci. Total Environ.* 1998; 217(1-2):83-89.
34. Burger J. Heavy metal and selenium levels in feathers of Franklin's gulls in interior North America. *Rev. Mex. Ing. Quím* 1996; 113: 399–407.